

ANALISA VARIASI PANJANG THROAT SECTION TERHADAP ENTRAINMENT RATIO PADA STEAM EJECTOR REFRIGERASI DENGAN MENGGUNAKAN CFD

Mohamad Fahriss

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT)

Jl. Sultan Fatah No. 83 Demak Telpn (0291) 681024

Abstrak: Steam ejector pertama kali ditemukan oleh Le Blanc dan Charles Parsons pada abad 19. Steam ejector bekerja dengan memanfaatkan panas buang dari sistem pembangkit daya, ruang pembakaran dan pada mesin industri untuk menghasilkan proses refrigerasi. Steam ejector terdiri empat bagian yaitu: divergen nosel (*primary nozzle*), ruang hisap (*suction chamber*), *constan area duct* atau *throat section* atau *mixing tube* dan *diffuser*. Kelemahan dari steam ejector refrigerasi adalah nilai performansi (COP) dan kapasitas pendinginan yang rendah. Maka berbagai eksperimen dari steam ejector dikembangkan untuk meningkatkan nilai COP. Entrainment ratio berpengaruh langsung terhadap nilai COP yang dihasilkan oleh sistem, bentuk geometri steam ejector dan kondisi operasi akan mempengaruhi nilai entrainment ratio. Computational fluid dynamics (CFD) digunakan untuk memprediksi fenomena aliran dan performansi steam ejector. Simulasi dilakukan dengan memodifikasi panjang throat section steam ejector dan memvariasikan kondisi operasi tekanan dan temperatur dari suction (*evaporator*) dan motive (*boiler*). Panjang throat section steam ejector divariasikan dari 1 sampai 10 kali diameter throat section. Variasi temperatur suction yang diberikan yaitu 27°C, 32°C, dan 35°C sedangkan variasi temperatur motive yang diberikan yaitu 85°C, 95°C, 105°C dan 115°C. Hasil simulasi menunjukkan steam ejector dengan panjang throat section 4 kali diameter throat section memberikan performansi yang optimum. Semakin tinggi temperatur suction maka nilai entrainment ratio semakin meningkat sedangkan semakin tinggi temperatur motive maka nilai entrainment ratio semakin menurun.

Kata kunci : COP, steam ejector, entrainment ratio, throat section

PENDAHULUAN

Teknologi *steam ejector* refrigerasi telah lama diketahui dan dikembangkan, pertama kali ditemukan oleh Le Blanc dan Charles Parsons awal tahun 1900. *Steam ejector* refrigerasi dimanfaatkan dalam siklus refrigerasi yang berfungsi menggantikan kompresor mekanik untuk memompa refrigeran bersirkulasi dalam sistem. *Steam ejector* terdiri dari empat bagian yaitu: sebuah konvergen dan divergen nosel (*primary nozzle*), ruang hisap (*suction chamber*), *constan area duct*

atau *throat section* atau *mixing tube* dan sebuah *diffuser*. Prosesnya dimulai dengan uap bertekanan dan temperatur tinggi dari boiler (disebut dengan *primary fluid* atau *motive fluid*) masuk ke *primary nozzle* dan keluar mencapai kecepatan *supersonic* sehingga akan menarik *secondary fluid* yang bertekanan dan temperatur rendah dari *suction chamber* bercampur di *mixing chamber*, kemudian kecepatannya akan turun menjadi subsonik seiring laju aliran ke *diffuser* dan tekanan akan meningkat. Jadi peran *steam ejector*

disini adalah sebagai pengganti kompresor pada siklus kompresi uap yaitu menaikkan tekanan aliran dari evaporator melalui *suction chamber*.

Kelemahan dari *steam ejector* refrigerasi adalah nilai performansi (*COP*) dan kapasitas pendinginan yang rendah. Karena *COP* yang dihasilkan rendah bila menggunakan *steam ejector* dalam suatu sistem refrigerasi atau pengkondisian udara bila dibandingkan menggunakan sistem konvensional, maka berbagai eksperimen dari *steam ejector* refrigerasi telah dikembangkan untuk meningkatkan nilai *COP*.

$$\text{Entrainment Ratio} = \frac{\text{mass of secondary flow}}{\text{mass of primary flow}}$$

Entrainment ratio berpengaruh langsung terhadap nilai *COP* yang dihasilkan oleh sistem, bentuk geometri *steam ejector* dan kondisi operasi akan mempengaruhi nilai *entrainment ratio*. Dalam kenyataan, sangat sulit untuk mendesain satu *steam ejector* dapat bekerja baik dalam semua kondisi operasi dan menguji coba semua bentuk *steam ejector*. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sangat berguna dalam mensimulasikan karakteristik aliran fluida didalam *ejector*. Fluent 6.2.16 merupakan salah satu perangkat lunak

komersial CFD yang cara kerjanya berdasarkan metoda volume hingga (*finite volume method*). Penggunaan perangkat lunak ini dapat memprediksi sesuatu dengan lebih cepat dan mudah serta biaya yang relatif lebih kecil dari eksperimental. Di samping itu juga dapat mengatasi kendala geometri yang rumit dan syarat-syarat batas yang merupakan penghambat metoda analitis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari modifikasi panjang *throat section steam ejector*, tekanan dan temperatur terhadap *entrainment ratio*.

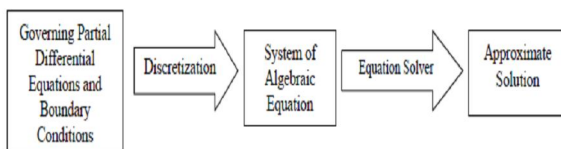
TINJAUAN PUSTAKA

CFD digunakan sebagai alat untuk mensimulasikan aliran fluida, evaluasi proses, dan mendesain komponen. Perkembangan teknologi aplikasi yang semakin baik, dapat menggunakan berbagai simulasi untuk menyelesaikan permasalahan yang lebih rumit, dengan lebih banyak detail, dan hasil lebih tepat, salah satunya adalah simulasi CFD.

1. Fluent

Fluent adalah program komputer untuk memodelkan aliran fluida dan perpindahan panas dalam geometri yang kompleks. Fluent versi 6.2.16.

merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode diskritisasi volume hingga. Fluent memiliki fleksibilitas mesh, sehingga kasus-kasus aliran fluida yang memiliki mesh tidak terstruktur akibat geometri benda yang rumit dapat diselesaikan dengan mudah. Proses untuk memperoleh solusi perhitungan dalam FLUENT membutuhkan dua langkah, seperti diperlihatkan Gambar 1.



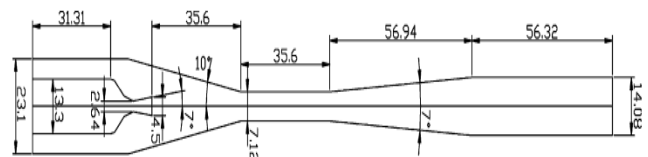
Gambar 1. Prosedur solusi perhitungan dalam FLUENT . Langkah pertama adalah diskretisasi (discretization) dan langkah kedua disebut penyelesaian numerik (*numerical/equation solver*). Adapun langkahnya sebagai berikut:

1. membuat geometri dan mesh pada model.
2. memilih solver yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D).
3. mengimpor mesh model (grid).
4. melakukan pemeriksaan pada mesh model.
5. memilih formulasi solver.
6. memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisa.

7. menentukan sifat material yang akan dipakai.
8. menentukan kondisi batas.
9. mengatur parameter kontrol solusi.
10. initialize the flow field.
11. melakukan perhitungan/iterasi.
12. menyimpan hasil iterasi.
13. Jika diperlukan, memperhalus grid kemudian melakukan iterasi ulang.

2. Simulasi Numerik Fluent

Model dasar *steam ejector* yang digunakan dalam simulasi CFD ini diambil berdasarkan literature. Variasi *steam ejector* yang dilakukan pada bagian panjang *throat*, variasi panjang *throat* berdasarkan kelipatan diameter *throat*. Bagian *throat section steam ejector* diperlihatkan Gambar. 2



Throat

Gambar .2 Bagian *Throat Steam Ejector* yang divariasikan.

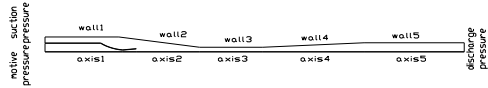
Tabel .1 Variasi Panjang *Throat*.

7	7.12									
Panjang throat (L)	7.12	14.24	21.36	28.48	35.6	42.72	49.84	56.96	64.08	71.2

3. Pembentukan Model dan Kondisi Batas

Pembentukan model *ejector* menggunakan bantuan GAMBIT, *ejector*

dimodelkan secara dua dimensi dan cukup digambarkan dengan setengah bagian sumbu *axis*nya (simetri) seperti pada Gambar 3. Hal ini dilakukan untuk meringankan daya komputasi dan menghemat waktu iterasi.



Gambar 3 *Ejector* Nosel.

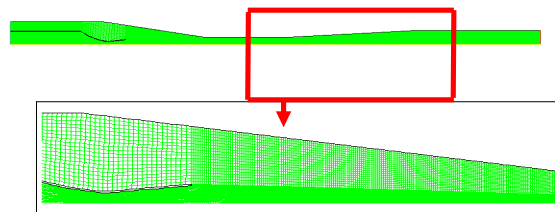
Spesifikasi Spesifikasi *ejector* dan kondisi batas yang digunakan:

1. *Ejector* menggunakan nosel A dengan dimensi diameter *throat* 2,64 mm, diameter *exit nozzle* 4,50 mm, perbandingan antara area *duct* atau *constant area section* dengan area *throat* nosel (ratio area) 7,27. Tebal dinding nosel yang digunakan sebesar 0,2mm.
2. Kelengkungan nosel dengan jari-jari 23,25mm.
3. Berbagai macam kondisi batas yang digunakan.

4. Penggenerasian Mesh

Mesh dibuat dari entiti geometri yang paling rendah ke entiti paling tinggi. *Mesh* yang diperoleh pada kasus ini adalah 43.900 sel, 88.795 sisi, dan 44.896 nodal untuk semua model *ejector*. *Meshing* dilakukan mulai dari *mesh* garis dengan *successive ratio* = 1,

dan *interval count* yang sesuai dengan tingkat ketelitian di masing-masing zona. Kemudian dilakukan *mesh* bidang dengan menggunakan elemen persegi panjang (*Quad*). Hasil penggenerasian *mesh* model *ejector*, dimana *meshing* pada daerah *jet flow* lebih rapat karena diperkirakan daerah *jet flow* memiliki gradient tekanan dan kecepatan yang tinggi. Setelah dilakukan pemeriksaan *mesh* diperoleh nilai kualitas *mesh* (*equi angel skew*) sebesar 0,519311, pemodelan memiliki *mesh* yang baik apabila nilai kualitas *mesh* tidak melebihi 0.9



Gambar 4. Grid *Quadrilateral* pada Domain.

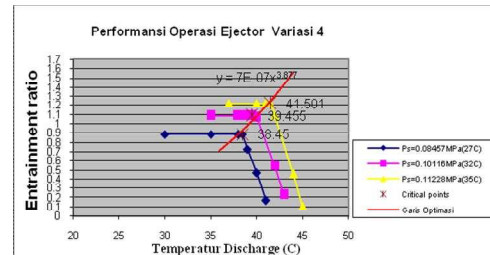
5. Solver dan Model Viskos

Adapun *solver* yang digunakan adalah *coupled*, karena pada dasarnya *solver coupled* didesain untuk kasus fluida kompresibel dengan kecepatan tinggi. Model turbulen *k-epsilon* dan *k-omega*. Dari variasi ini akan diperoleh suatu keakuratan hasil yang berupa nilai laju aliran massa pada *primary flow* (motive), *secondary flow* (suction) dan

ejector variasi 4, kecepatan aliran pada *throat section* mencapai nilai maksimal saat panjang *throat section* empat kali diameter *throat section*, karena kecepatan aliran pada *throat section* maksimal maka tekanan pada *throat section* akan rendah sehingga dihasilkan daerah vakum yang besar hal ini mengakibatkan laju aliran massa *secondary flow* yang terhisap semakin banyak, maka nilai *entrainment ratio* yang dihasilkan akan optimal.

2. Efek Temperatur Dan Tekanan Evaporator (*Suction*)

Temperatur evaporator atau *suction* (T_s) dan tekanan suction (P_s) akan divariasikan pada $P_s=0.084570\text{MPa}(27^0\text{C})$, $P_s=0.10116\text{MPa}(32^0\text{C})$, $P_s=0.11228\text{MPa}(35^0\text{C})$ agar diketahui pengaruhnya terhadap nilai laju aliran massa pada *primary flow* dan *secondary flow*, serta perhitungan *entrainment ratio* (ω) yang dihasilkan oleh model *steam ejector* variasi 4.



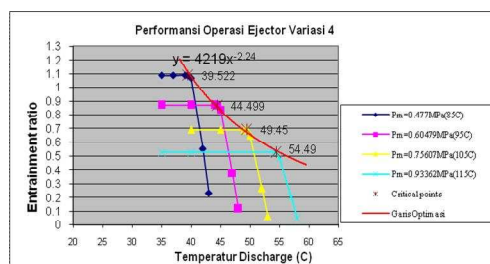
Gambar 8. Grafik Performansi Operasi Model Ejector Variasi 4 Dengan Variasi Tekanan Evaporator (*suction*).

Gambar 8 diatas terlihat bahwa jika temperatur evaporator naik maka nilai *entrainment ratio* dan tekanan kritis kondensor akan mengalami kenaikan. Kondisi operasi terbaik untuk model *steam ejector* variasi 4 didapat dari garis optimasi hasil simulasi, karena garis optimasi terletak pada mode kritis maka *entrainment ratio* yang dihasilkan *ejector* akan optimal

3. Efek Temperatur Dan Tekanan Boiler (*Motive*)

Setelah didapat kondisi operasi terbaik untuk model *steam ejector* variasi 4 dengan memvariasikan temperatur dan tekanan pada keluaran evaporator atau *suction* serta pada temperatur dan tekanan pada kondensor, maka simulasi model *steam ejector* variasi 4 berikutnya dengan memvariasikan temperatur dan tekanan

pada keluaran boiler atau *motive* serta pada temperatur dan tekanan pada kondensor. Temperatur boiler atau *motive* (T_m) dan tekanan motive (P_m) akan divariasikan pada $P_m=0.47723\text{Mpa}(85^{\circ}\text{C})$, $P_m=0.60479\text{Mpa}(95^{\circ}\text{C})$, $P_m=0.75607\text{Mpa}(105^{\circ}\text{C})$, dan $P_m=0.93362\text{Mpa}(115^{\circ}\text{C})$ agar diketahui pengaruhnya terhadap nilai laju aliran massa pada *primary flow* dan *secondary flow*, serta perhitungan *entrainment ratio* (ω) yang dihasilkan oleh model *steam ejector* variasi 4



Gambar 9 Grafik Performansi Operasi Model Ejector Variasi 4 Dengan Variasi Tekanan Boiler (*Motive*).

Gambar 9 diatas terlihat bahwa jika temperatur boiler turun maka nilai *entrainment ratio* akan mengalami kenaikan. Terlihat laju aliran massa *secondary flow* tertinggi dan dengan nilai laju aliran massa yang dihasilkan pada *primary flow* terendah didapat saat kondisi kritis pada tekanan boiler $P_m=0.47723\text{Mpa}(85^{\circ}\text{C})$ sehingga

perhitungan *entrainment ratio* didapat nilai yang optimal.

Kondisi operasi terbaik untuk model *steam ejector* variasi 4 didapat dari garis optimasi hasil simulasi, karena garis optimasi terletak pada mode kritis maka *entrainment ratio* yang dihasilkan *ejector* akan optimal.

KESIMPULAN

1. Model *viscous k-epsilon* RNG ($k-\epsilon$ RNG) memiliki ketelitian lebih baik dibandingkan model *viscous* yang lain dengan persentase *error* bila diverifikasikan dengan data literature laju aliran massa pada *primary flow* (*error* -1.72%) dan *secondary flow* (*error* 0.035%), serta perhitungan *entrainment ratio* (1.78%).
2. Panjang *throat section* berpengaruh terhadap performansi *steam ejector* yang dihasilkan, performansi optimum dicapai bila panjang *throat section* empat kali diameter *throat section* yaitu 28.48 mm.
3. Bila temperatur evaporator atau *suction* divariasikan pada suhu 27°C , 32°C , dan 35°C maka *entrainment ratio* yang dihasilkan semakin meningkat seiring meningkatnya temperatur evaporator (T_s).

4. Bila temperatur boiler atau *motive* divariasikan pada suhu 85°C, 95°C, 105°C, dan 115°C *entrainment ratio* yang dihasilkan semakin menurun seiring meningkatnya temperatur boiler atau *motive* (T_m).

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. 2005. *Refrigerants*.
- B.J. Huang, J.M. Chang, C.P. Wang and V.A. Petrenko, 1999, *A 1-D analysis of ejector performance*, *Int. J. Refrigeration*, 22, 354-364.
- E. Rusly, Lu Aye, W.W.S. Charters, A. Ooi, 2005, *CFD analysis ejector in a combined ejector cooling system*, *Int J Refrigeration* 28.
- FLUENT, Inc, 1998, *Manual FLUENT Documentation*, FLUENT, Inc.
- I.S Park, SM Park, J.S Ha, 2005, *Design And Application Of Thermal Vapor Compressor for Multi-effect Desalination Plant*,
- Jacobus Meyer Adriaan, 2006, *Steam Jet Ejector Cooling Powered By Low Grade Waste or Solar Heat*, Stellenbosch University,.
- K. Pianthong, Wirapan Seehanam, 2007, *Investigation And Improvement of Ejector Refrigeration System Using CFD technique*.
- Kanjanapon Chunnanond, Satha Aphornratana, 2003, *An experimental investigation of a steam ejector refrigerator: the analysis of the pressure profile along the ejector*, Thammasat University.
- Moran M.J, Shaparo H.N, 2004, *Thermodynamika Teknik*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta,.
- NIST *Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database* (REFPROP version 7).
- Somsak Watanawanavet, 2005, *Optimization of High-Efficiency Jet Ejector By Computational Fluid Dynamics Software*,.
- Thermodynamics An Engineering Approach*, 5th 1ed, McGraw-Hill.
- Tuakia, Firman, 2008, *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*, Informatika, Bandung.
- Victor L.Steeter, 1990, *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta.
- White, Frank M, 1988, *Mekanika Fluida Edisi Keempat*, Erlangga, Jakarta.
- Wilbert F Stoecker, 1996, Jerold W Jones, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga.